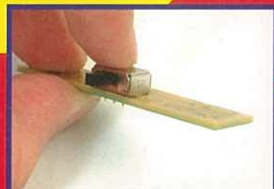
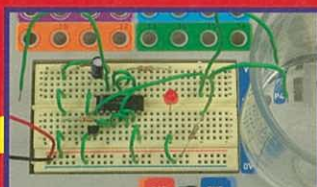
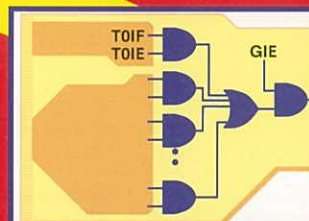
...e costruisci il tuo **LABORATORIO DIGITALE**

6,90 €

19

DIGITALE DI BASE

HARDWARE

MICROCONTROLLER

DIGITALE AVANZATO

TOTALMENTE PROGRAMMABILE!!!

9 771824 363008 41019

Peruzzo & C.

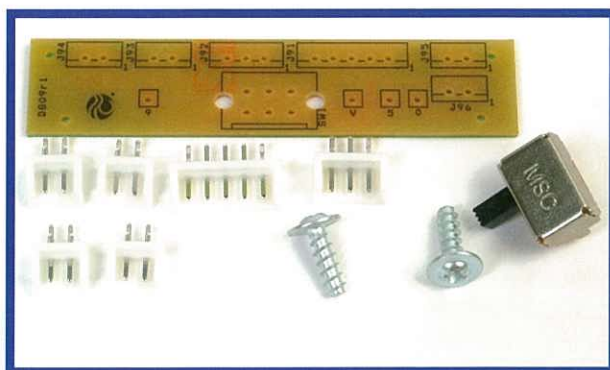
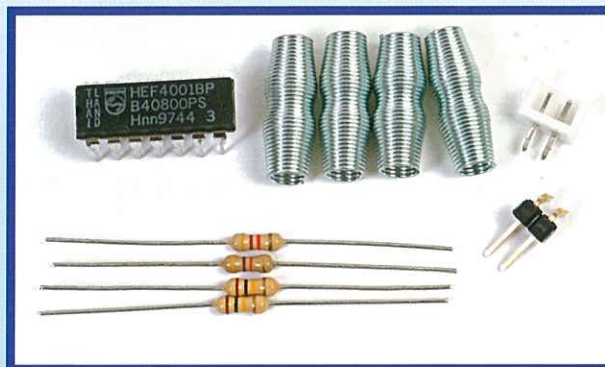
Direttore responsabile:
ALBERTO PERUZZO
Direttore Grandi Opere:
GIORGIO VERCELLINI
Consulenza tecnica e traduzioni:
CONSULCOMP S.n.c.
Pianificazione tecnica
LEONARDO PITTON

Direzione, Redazione, Amministrazione: viale Ercole Marelli 165, Tel. 02/242021, 20099 Sesto San Giovanni (Mi). Pubblicazione settimanale. Registrazione del Tribunale di Monza n. 1738 del 26/05/2004. Spedizione in abbonamento postale gr. II/70; autorizzazione delle Poste di Milano n. 163464 del 13/2/1963. Stampa: Staroffset s.r.l., Cernusco S/N (MI). Distribuzione SO.DI.P. S.p.A., Cinisello Balsamo (MI).

"ELETTRONICA DIGITALE"
si compone di
70 fascicoli settimanali
da suddividere
in 2 raccoglitori.

RICHIESTA DI NUMERI ARRETRATI. Per ulteriori informazioni, telefonare dal lunedì al venerdì ore 9.30-12.30 all'ufficio arretrati tel. 02/242021. Se vi mancano dei fascicoli o dei raccoglitori per completare l'opera, e non li trovate presso il vostro edicolante, potrete riceverli a domicilio rivolgendovi direttamente alla casa editrice. Basterà compilare e spedire un bollettino di conto corrente postale a PERUZZO & C. s.r.l., Ufficio Arretrati, viale Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (MI). Il nostro numero di c/c postale è 42980201. L'importo da versare sarà pari al prezzo dei fascicoli o dei raccoglitori richiesti, più le spese di spedizione € 3,10 per pacco. Qualora il numero dei fascicoli o dei raccoglitori sia tale da superare il prezzo globale di € 25,82 e non superiore a € 51,65, l'invio avverrà per pacco assicurato e le spese di spedizione ammonteranno a € 6,20. La spesa sarà di € 9,81 da € 51,65 a € 103,29; di € 12,39 da € 103,29 a € 154,94; di € 14,98 da € 154,94 a € 206,58; di € 16,53 da € 206,58 in su. Attenzione: ai fascicoli arretrati, trascorse dodici settimane dalla loro distribuzione in edicola, viene applicato un sovrapprezzo di € 0,52, che andrà pertanto aggiunto all'importo da pagare. Non vengono effettuate spedizioni contrassegno. Gli arretrati di fascicoli e raccoglitori saranno disponibili per un anno dal completamento dell'opera. IMPORTANTE: è assolutamente necessario specificare sul bollettino di c/c postale, nello spazio riservato alla causale del versamento, il titolo dell'opera nonché il numero dei fascicoli e dei raccoglitori che volete ricevere.

IN REGALO in questo fascicolo

- 1 Scheda DG09r1
- 1 Commutatore 2 posizioni 2 vie a 90°
- 4 Connettori maschio da c.s. diritti a 5 vie
- 1 Connettore maschio da c.s. diritto a 3 vie
- 2 Viti 3,1x10 mm

IN REGALO nel prossimo fascicolo

- 4 Molle
- 1 Circuito integrato 4001
- 2 Resistenze da 4,7 K 5% 1/4 W
- 2 Resistenze da 100 K 5% 1/4 W
- 1 Connettore maschio da c.s a 2 vie a 90°
- 1 Connettore maschio da c.s. diritto a 2 vie

COME RACCOGLIERE E SUDDIVIDERE L'OPERA NELLE 4 SEZIONI

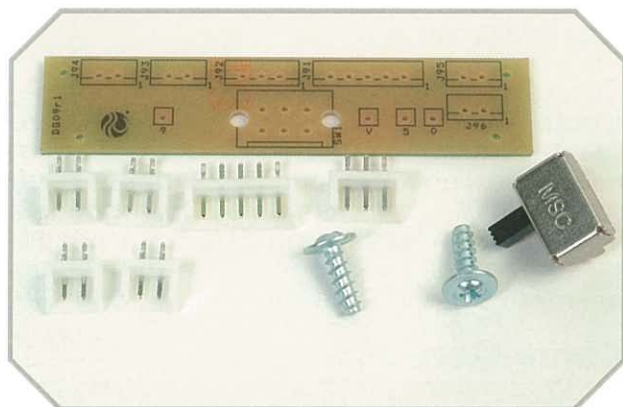
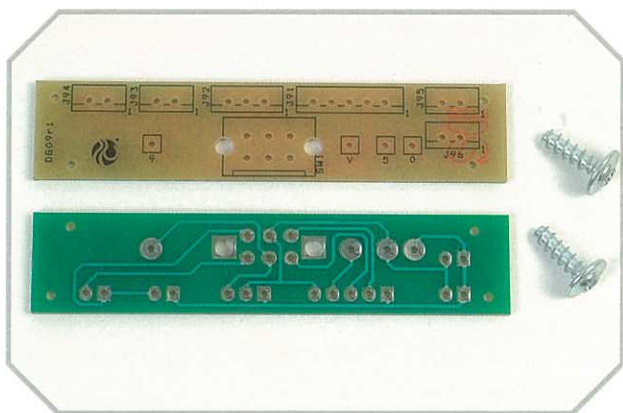
L'Opera è composta da 4 sezioni identificabili dalle fasce colorate, come indicato sotto. Le schede di ciascun fascicolo andranno suddivise nelle sezioni indicate e raccolte nell'apposito raccoglitore, che troverai presto in edicola. Per il momento, ti consigliamo di suddividere le sezioni in altrettante cartellette, in attesa di poterle collocare nel raccoglitore. A prima vista, alcuni numeri di pagina ti potranno sembrare ripetuti o sbagliati. Non è così: ciascuno fa parte di sezioni differenti e rispecchia l'ordine secondo cui raccogliere le schede.
Per eventuali domande di tipo tecnico scrivere al seguente indirizzo e-mail:
elettronicadigitale@microrobots.it

Hardware Montaggio e prove del laboratorio

Digitale di base Esercizi con i circuiti digitali

Digitale avanzato Simulazione con MPLAB (III)

Microcontroller Esercizi con i microcontroller

Distribuzione dell'alimentazione

Materiali per montare e installare il circuito stampato DG09.

Circuito stampato DG09 visto da entrambi i lati.

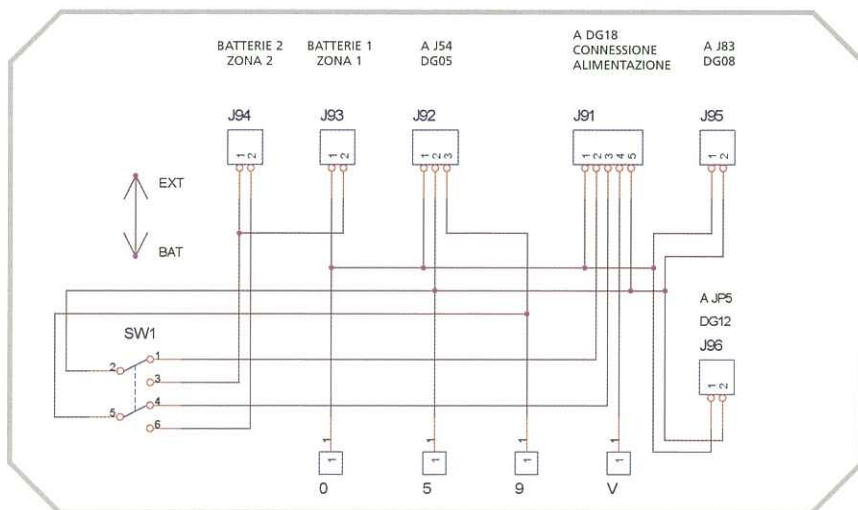
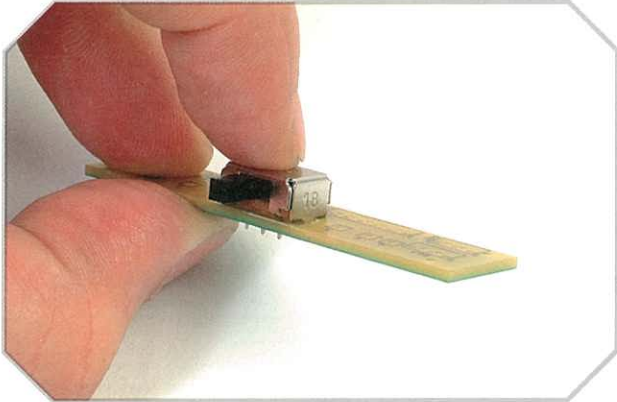
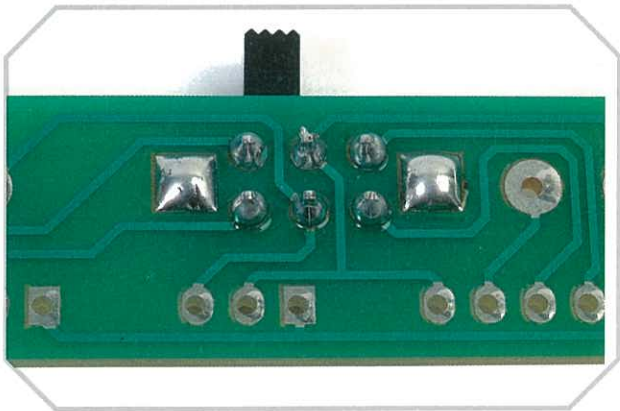
Con questo fascicolo viene fornita la scheda DG09, insieme ai sei connettori e al commutatore che dovranno essere installati su questo circuito stampato. Vengono fornite anche due viti con la testa dalla sagoma particolare per il fissaggio della scheda stessa.

Il circuito

Se guardiamo lo schema elettrico potremo osservare la funzione di distribuzione dell'alimentazione, così come indica il nome stesso della scheda. Il laboratorio, quando sarà completo, potrà essere alimentato tramite le pile installate nei due portabatterie o dall'esterno; in questo caso, avremo a disposizione un alimentatore sul pannello superiore del laboratorio, il circuito stampato DG18, che fornirà le tensioni da 0, 5, 9 V, più un'altra variabile, il cui collegamento sullo schema è indicato con la lettera V.

Il commutatore SW1 permette di selezionare un modo o l'altro dell'alimentazione. Di seguito descriveremo le funzioni e i terminali di ognuno dei connettori.

Connettore J93

Questo connettore si utilizza per il collegamento del connettore del portabatterie, situato sotto la zona 1 del laboratorio; il terminale 1 corrisponde a 0 V e il terminale 2 a 4,5 V.

Schema elettrico del circuito di distribuzione dell'alimentazione.

Il commutatore deve rimanere ben appoggiato sulla scheda e con il comando verso l'esterno della stessa.

Durante la saldatura bisogna tenere fermo il commutatore.

Connettore J94

Questo connettore si utilizza per il collegamento del connettore del portabatterie, situato sotto la zona 2 del laboratorio; il terminale 1 si collega al terminale 2 di J93, e corrisponde a 4,5 V, e il terminale 2 corrisponde a 9 V. È molto importante ricordare che per poter disporre di 9 V bisognerà montare le pile in entrambi i portabatterie.

Connettore J91

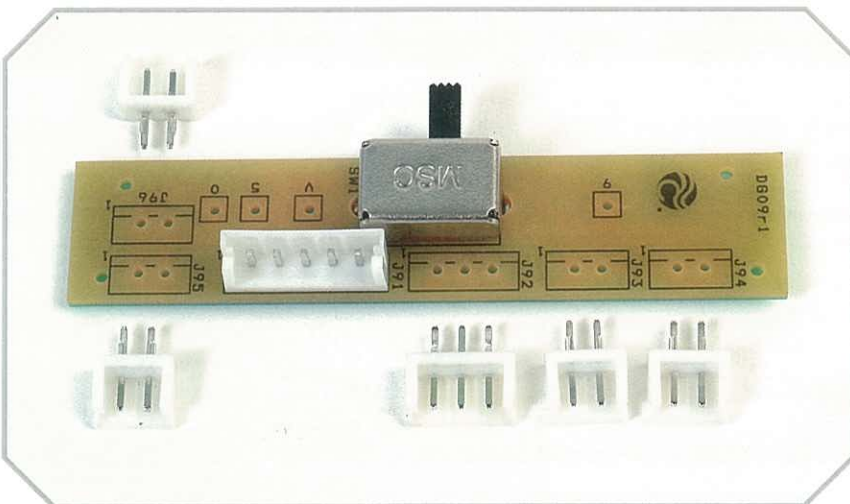
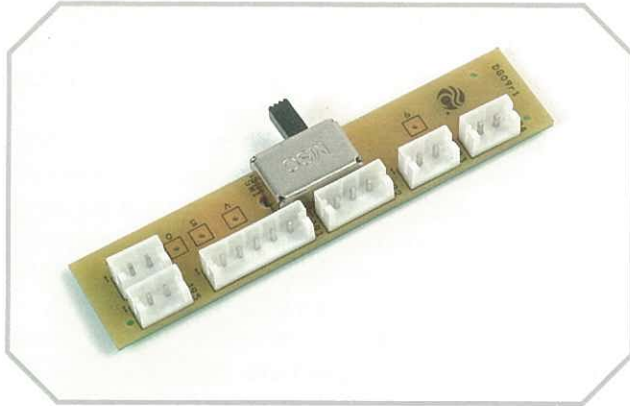
Questo connettore a 5 terminali ha diverse funzioni. Il terminale 1 corrisponde al collegamento del negativo, che è comune per tutto il laboratorio ed è collegato allo 0 V delle batterie.

I terminali 2, 3 e 4 si utilizzano per fornire le tensioni da 5 V, 9 V e la tensione variabile, generata dall'alimentatore, verso la parte inferiore del laboratorio.

Il terminale 5 fornisce la tensione di 5 V tramite la scheda di distribuzione situata nella parte inferiore del laboratorio, fino ai circuiti montati sul pannello superiore del laboratorio.

Il collegamento tra i circuiti stampati DG09 e DG18 si realizzerà mediante un cavetto a 5 conduttori terminato su un connettore a 5 vie, che vi verrà fornito a suo tempo.

Connettore J92

Questo connettore si utilizza per alimentare i circuiti montati nella zona 1 del laboratorio. Verrà collegato al circuito stampato DG05 mediante un cavetto che verrà fornito nei prossimi fascicoli. In questo modo avremo le tensio-

Il primo connettore da montare è quello da 5 terminali.

Scheda con il commutatore e i connettori.

Questa scheda si monta in verticale.

ni da 0 V, 4,5 V (o 5 V se si alimenta dall'esterno) e 9 V.

Connettore J95

Fornisce l'alimentazione da 5 V ai circuiti della zona 1 collegandosi con un cavetto a due fili, che verrà fornito più avanti, al connettore J83 della scheda DG08. Il terminale 1 corrisponde a 0 V e il 2 a 5 V.

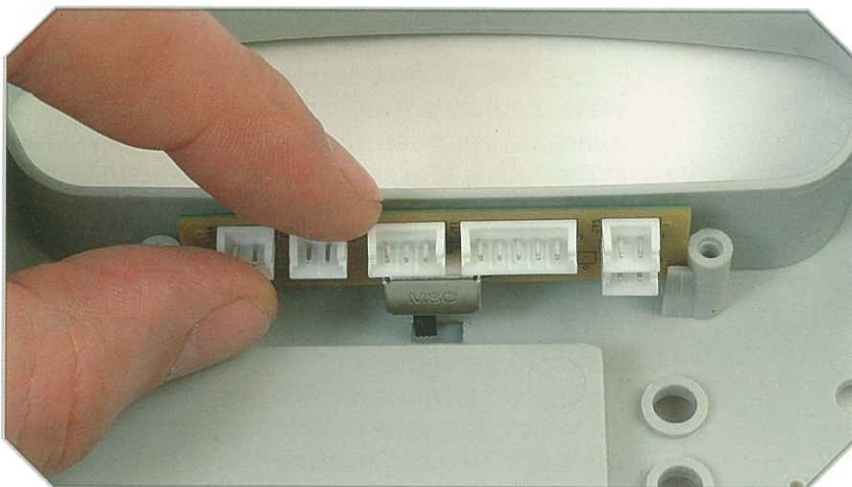
Connettore J96

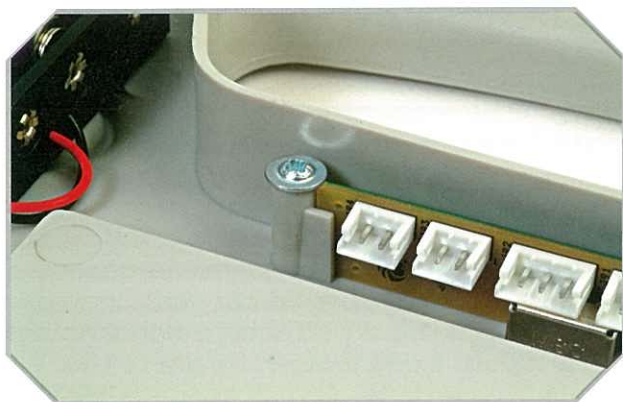
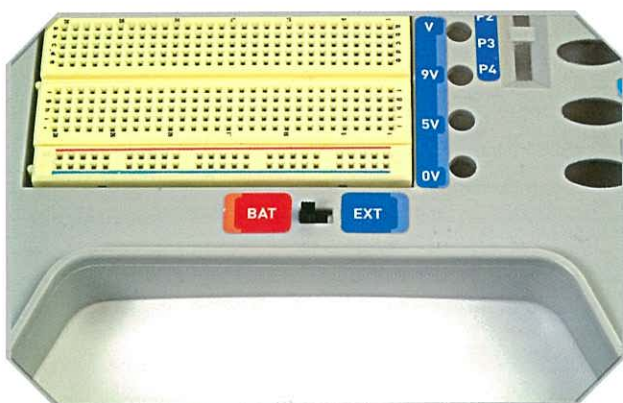
Fornisce l'alimentazione da 5 V al circuito DG12, che a sua volta alimenta la matrice di LED. Si collega a questa scheda con il cavetto a due fili che verrà fornito. Il terminale 1 corrisponde a 0 V e il 2 a 5 V.

Montaggio del commutatore

Il primo elemento da montare è il commutatore, che deve essere montato con il comando verso l'esterno della scheda, inserendo i sei terminali di contatto e i due autocentranti del telaio. Sia i terminali di contatto che quelli autocentranti verranno saldati applicando il saldatore per il tempo necessario, in quanto il commutatore contiene componenti in materiale plastico che si potrebbero danneggiare se sottoposti a una temperatura eccessiva.

Montaggio dei connettori

Tutti i connettori si montano sulla scheda nella stessa posizione. Per evitare errori vi sugge-

La scheda si inserisce in modo che il comando del commutatore fuoriesca dal foro nel pannello.

Questa scheda si fissa con due viti a testa allargata.

In questa immagine possiamo vedere come la vite fissa la scheda.

Laboratorio con la scheda di distribuzione dell'alimentazione installata.

riamo di osservare le fotografie; la zona più aperta degli stessi deve rimanere orientata verso il bordo della scheda, e il connettore J96 deve avere la stessa posizione degli altri.

Anche se non si tratta di componenti puramente elettronici, è necessario eseguire le saldature con attenzione. La prima cosa da considerare è che risulta indispensabile inserire i connettori con l'orientamento indicato, altrimenti il laboratorio non potrà funzionare.

Il contenitore dei connettori deve rimanere appoggiato sulla superficie della scheda ed essere mantenuto in questa posizione fino a quando la saldatura lo fisserà.

Per quanto riguarda le saldature, bisogna applicare il saldatore per il tempo strettamente necessario all'esecuzione, perché un eccessivo riscaldamento potrebbe deformare il corpo del connettore. Vi consigliamo di cominciare da quello con il maggior numero di terminali. I fori indicati come 0, 5, 9 e V verranno utilizzati in seguito.

Installazione della scheda

Per installare la scheda la inseriremo nelle due guide che troviamo nella parte inferiore del pannello principale del laboratorio, orientandola in modo che il comando del commutatore fuoriesca dal pannello frontale del laboratorio stesso.

Potrebbe essere necessario rifilare alcune sbavature di plastica, in tal caso si può usare una piccola lametta affilata, facendo però attenzione a non togliere troppo materiale e, soprattutto, a non ferirci; questa operazione, comunque, non è generalmente necessaria.

La scheda si fissa con le due viti che vi sono state fornite, le quali dispongono di una testa allargata per poter fissare la scheda. Le avviteremo fino a bloccare la scheda ma senza forzare troppo per non danneggiare il filetto.

Collegamenti

Per il momento non è necessario realizzare alcun collegamento a questa scheda. Man mano che vi verranno forniti più componenti ed elementi, in special modo i cavetti di collegamento, vi verrà indicato come realizzare ogni connessione.

Allarme da allagamento

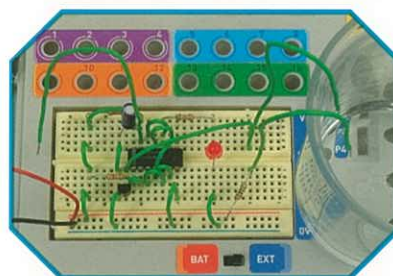
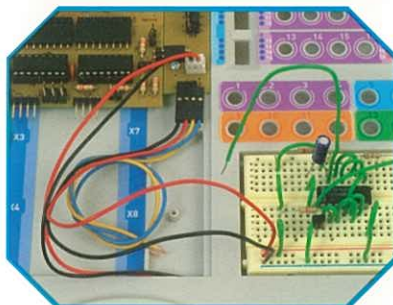
Questo circuito è un esempio di applicazione dei circuiti bistabili. Quando il livello dell'acqua raggiunge gli elettrodi della sonda si illumina un LED e si memorizza questo stato di allarme.

Funzionamento

Partiamo da un circuito per rilevare allagamenti e supponiamo che al momento di collegare l'alimentazione l'acqua non raggiunga il livello definito come allarme, ovvero che i due elettrodi siano in aria. Collegando l'alimentazione del circuito il LED rimane spento.

Quando il livello dell'acqua raggiunge gli elettrodi, il circuito si attiva e il LED 1 si illumina, rimanendo così anche se il livello dell'acqua scende, memorizzando quindi lo stato di allarme.

Per cancellare lo stato di allarme dobbiamo cortocircuitare il condensatore C1, realizzando momentaneamente il collegamento di RESET. Potremmo anche cancellare l'allarme scollegando l'alimentazione, ma in questo caso, dovremo verificare che il condensatore C1 si scarichi.

Componenti inseriti sulla Bread Board.

Cablaggio dei collegamenti e del sensore.

Alimentazione tramite J41 di DG04, utilizzando il cavetto di un connettore.

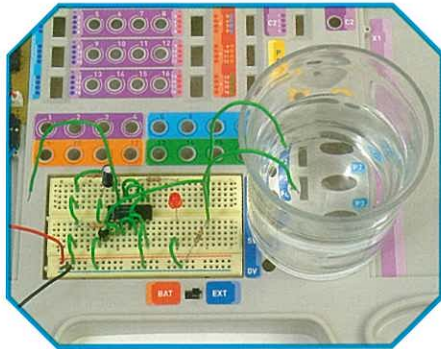
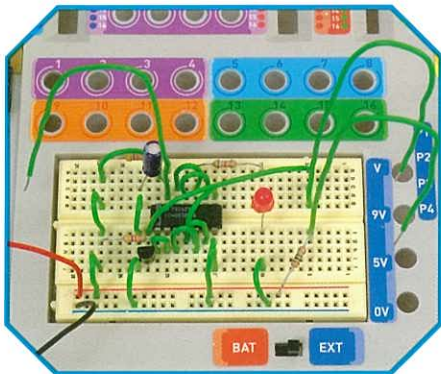
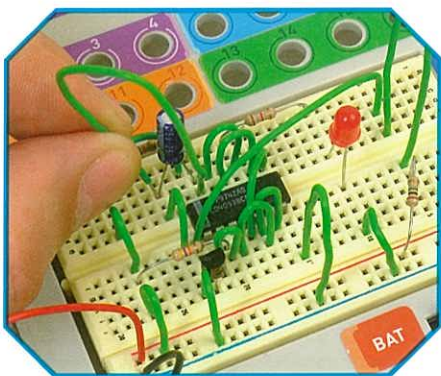
Lo schema

Il circuito può risultare già visto, però bisogna fare ben attenzione alle variazioni. All'ingresso utilizziamo un transistor, che è un componente più robusto di una porta, e quindi, ci potrà aiutare a evitare falsi allarmi.

Supponiamo che il circuito sia alimentato e il LED 1 spento. All'ingresso della porta U1A, che è collegata per funzionare come una porta invertente, abbiamo un 1 logico; sulla sua uscita uno 0 che arriva a un'altra porta invertente, U1B, la cui uscita è a 1 e viene applicata all'ingresso di SET del bistabile, quindi quest'ultimo non cambia stato. L'altro terminale del bistabile, terminale 13 dell'integrato, è anch'esso a 1. Quando il livello dell'acqua raggiunge gli elettrodi si stabilisce una corrente di base sul transistor Q1.

Questa corrente è possibile grazie ai sali che sono disciolti nell'acqua, anche se in piccola percentuale.

Quando la corrente che il transistor conduce è sufficiente a provocare una caduta di tensione sulla resistenza R2 tale che il livello di ingresso della porta sia interpretato come uno

Schema elettrico del circuito di allarme da allagamento.

Se il livello sale il LED si illumina.

Anche se si toglie il sensore l'allarme rimane memorizzato.

Il RESET si esegue toccando il terminale del condensatore con un filo.

Laboratorio con l'esperimento.

0, l'uscita della porta passa a 1, quindi l'ingresso del Flip-Flop, terminale 8 dell'integrato, sarà anch'esso uno 0; l'uscita del Flip-Flop, terminale 10, passa a livello alto e fa illuminare il LED 1 che rimane in questo stato anche se il livello dell'acqua si abbassa e il livello logico dell'ingresso di U1A torna a 1.

RESET

Per cancellare lo stato di allarme dopo che il livello dell'acqua è sceso, realizzeremo momentaneamente il collegamento di reset, dato che dobbiamo solamente scaricare il condensatore.

Stato iniziale

Per assicurare che il LED rimanga spento al collegamento dell'alimentazione si utilizza una rete formata dal condensatore C1 e dalla resistenza R3. Questo assicura che, nel momento iniziale, ci sia un 1 sull'ingresso di RESET, terminale 13, e che quindi sull'uscita, terminale 10, ci sia uno 0.

Montaggio

Il montaggio si deve realizzare seguendo lo schema e utilizzando le fotografie come aiuto. Bisogna fare particolare attenzione alla posizione e all'orientamento del circuito integrato, del transistor, del LED e del condensatore elettrolitico.

Alimentazione

Il circuito si alimenta tramite il connettore J41 di DG04, quindi è necessario avere le pile nel portabatterie posizionato sotto la zona 1 del laboratorio, utilizzando il cavetto che termina con i fili sciolti e che, dall'altra parte, ha un connettore.

Quando il laboratorio sarà completo l'alimentazione si prenderà dalle molle 0 e 5 V.

LISTA DEI COMPONENTI

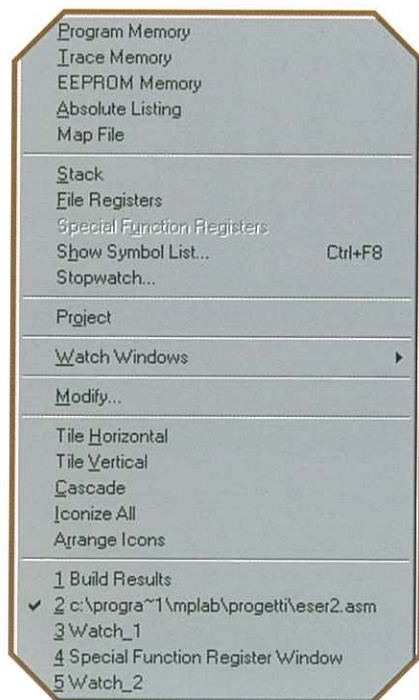
Circuito di base	
U1	Circuito integrato 4093
R1	Resistenza 1 M (marrone, nero, verde)
R2, R3	Resistenza 47 K (giallo, viola, arancio)
R4	Resistenza 1K8 (marrone, grigio, rosso)
C1	Condensatore 10 µF elettrolitico
Q1	Transistor NPN BC547 o BC548
LED1	Diodo LED rosso

Simulazione con MPLAB (III)

Termineremo lo studio delle finestre di simulazione con l'opzione che permette di modificare il contenuto di un registro e le diverse visualizzazioni o presentazioni del display durante la simulazione. Siamo pronti per iniziare l'analisi delle diverse opzioni di simulazione di MPLAB.

Finestra Modify

Quando attiviamo l'opzione Window → Modify il simulatore ci offre la possibilità di cambiare il contenuto di un registro. Per fare questo dobbiamo indicare al software l'indirizzo del registro da modificare, inserendolo tramite il campo Address e specificare il tipo di memoria in cui è contenuto (dati, programma, stack o EEPROM). Il valore che vogliamo dare al registro deve essere inserito nel campo Data/Opcode, indicando anche il formato del dato, esadecimale o decimale. Se clicchiamo su Write scriveremo sul registro il valore desiderato.

Questa opzione è molto comoda quando vogliamo simulare degli ingressi sul PIC, dato che potremo modificare il contenuto dei registri PORTA, PORTB e PORTC.

Opzioni del menù Window.

Le finestre di simulazione

Abbiamo visto nel dettaglio tutte le finestre di simulazione che ci offre MPLAB. Nella simulazione possiamo visualizzare il contenuto di tutti i registri del nostro microcontroller e analizzare come si evolvono lungo il corso del programma.

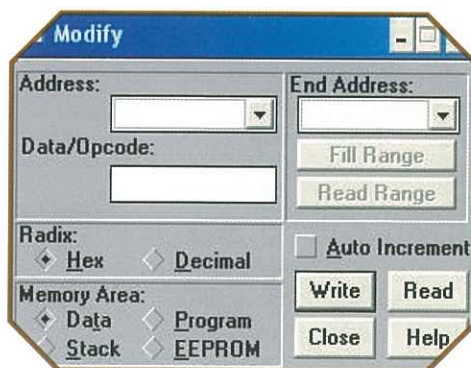
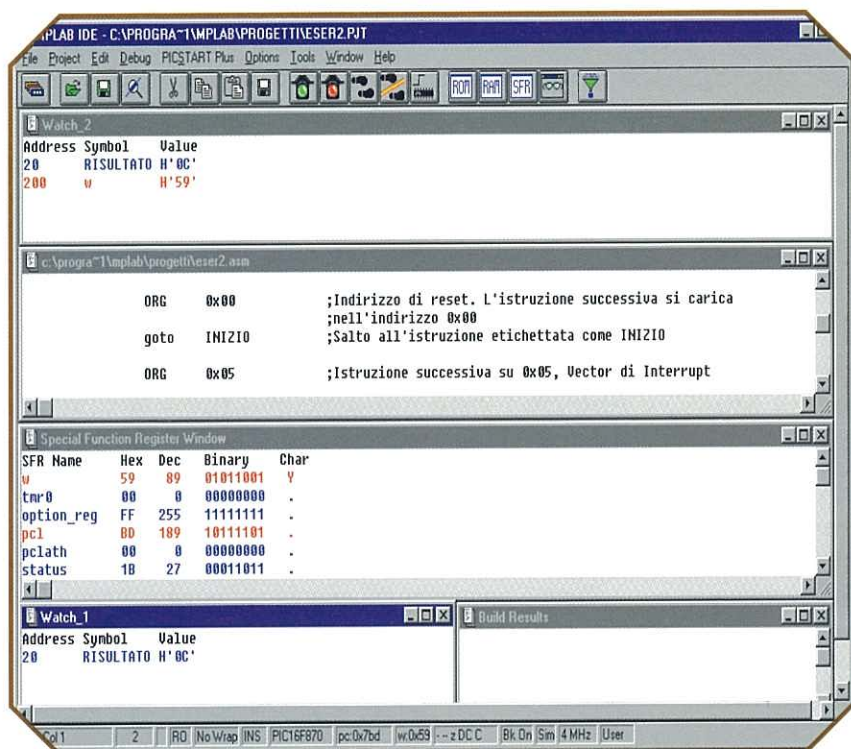
Tutti i programmi che realizzeremo devono passare tramite il simulatore prima di essere scritti sul microcontroller, quindi dovremo prendere confidenza con la gestione di queste finestre.

Opzioni di presentazione

Un buon progettista terrà aperte diverse finestre durante la simulazione del programma. Dobbiamo evitare che la videata si converta in un caos, in un agglomerato di finestre senza alcun ordine, e a questo scopo le organizzeremo in modo che la loro analisi risulti comoda e semplice.

Se torniamo sul menù all'opzione Window vedremo che quando si apre appaiono le diverse scelte:

— Tile Horizontal: organizza le finestre in file, una sotto l'altra.

— Tile Vertical: organizza le finestre in colonne.

Il contenuto di un registro si può modificare mediante questa opzione.

Disposizione orizzontale delle finestre.

— Cascade: questa opzione presenta le finestre in cascata.

— Iconize All: per minimizzare tutte le finestre.

— Arrange Icons: ordina le finestre minimizzate.

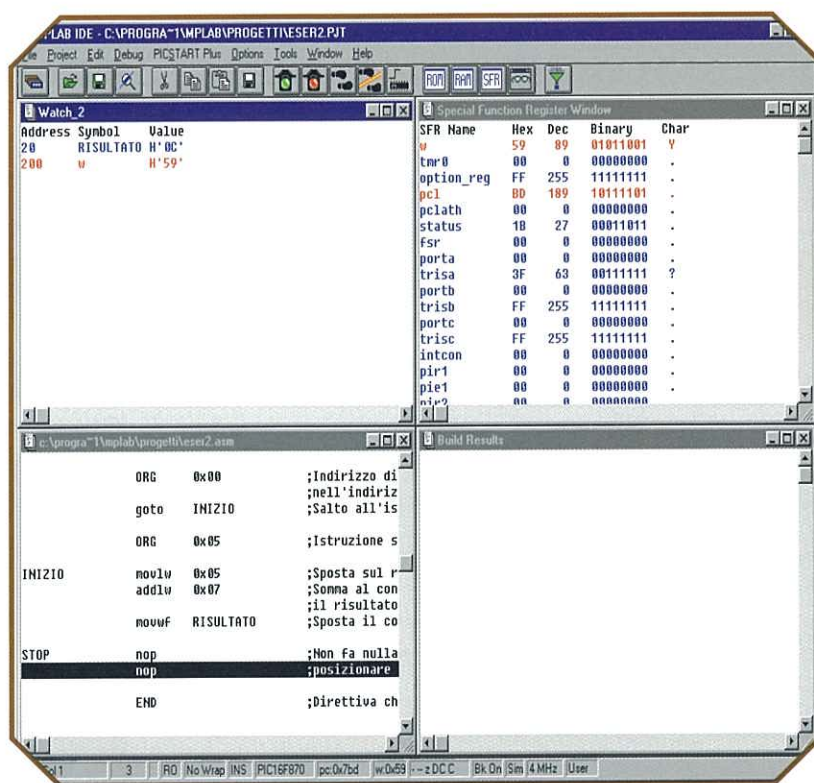
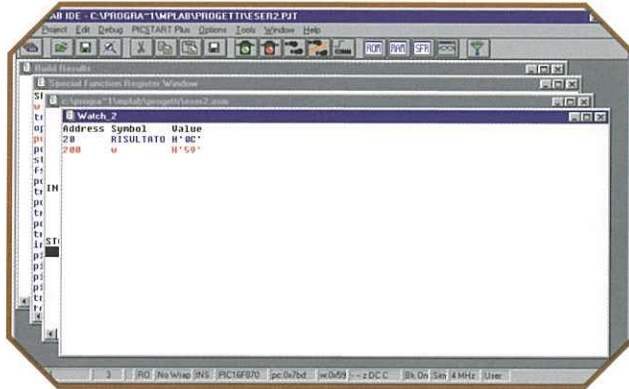
Anche se il software ci offre questa scelta, saremo noi che posizioneremo le finestre in base alle nostre esigenze e al risultato funzionale. Un esempio dell'aspetto di MPLAB durante la simulazione è quello riportato in figura.

Simulazione

Facendo un piccolo ripasso di ciò che abbiamo visto finora possiamo dire di aver imparato a scrivere un programma, a compilarlo, a togliere gli errori e sappiamo anche attivare tutti i dispositivi offerti dal software per sfruttare la simulazione, però non abbiamo ancora imparato come eseguirla.

Quando attiviamo l'opzione Debug della barra del menù appare il menù a tendina mostrato nella figura della pagina successiva. Su questo menù troviamo tutte le opzioni di simulazione che analizzeremo in ordine una a una, così come abbiamo fatto con le finestre di simulazione.

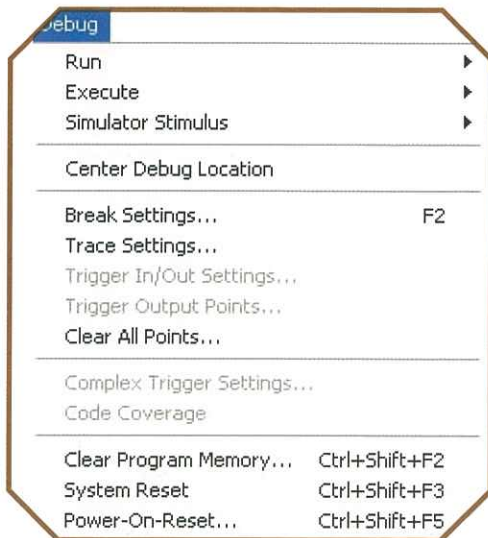
Debug → Run

Se selezioniamo questa opzione si aprirà un nuovo menù. Come possiamo vedere in questi menù a tendina, su molte delle opzioni appare a destra l'indicazione di un tasto o la combinazione di più tasti. Il software facilita l'accesso rapido alle scelte più utilizzate in modo che non sia necessario aprire i menù.

Disposizione verticale delle finestre.

Disposizione delle finestre in cascata.

Ad esempio, per selezionare l'opzione Reset, possiamo aprire questo menù o premere direttamente il tasto F6. Ricordate che è anche possibile accedere alle opzioni più utilizzate mediante le icone della barra degli strumenti.

Aprite il progetto della somma di due numeri, se non lo avete ancora aperto, assemblatelo e realizzate una disposizione sul video con le finestre di simulazione come mostrato nella figura precedente.

Run

Attivando questa opzione si esegue il programma in tempo reale. Dato che la simulazione è fatta dal computer, l'esecuzione del programma sarà un po' più lenta rispetto all'esecuzione diretta da parte del microcontroller.

Menù dell'opzione Debug aperto.

Esempio di presentazione delle finestre sul display.

Selezionando Run vedremo cambiare il colore della barra inferiore del software e vedremo anche che il tempo indicato nella finestra Stopwatch inizierà a contare. I registri non si aggiorneranno e per fermare l'esecuzione bisognerà selezionare Halt.

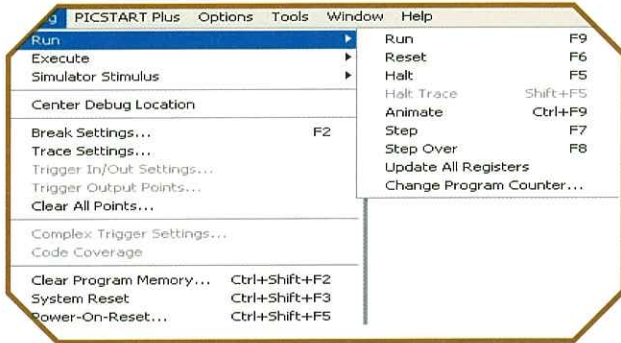
Reset

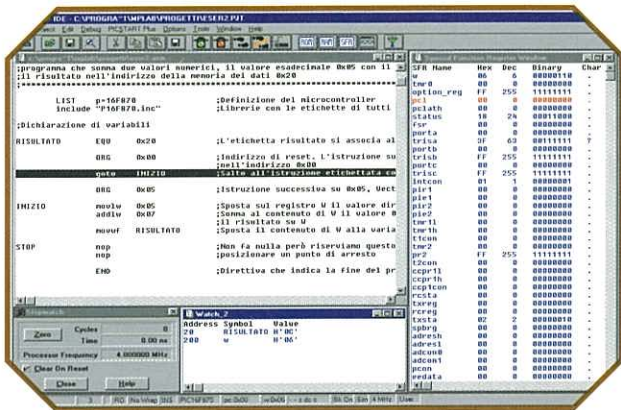
Questa opzione inizializza il sistema. Il contatore di programma (PC) viene impostato a zero e la linea di codice sorgente che corrisponde all'indirizzo del Vector di Reset risulta evidenziata. Ci posizioniamo sulla prima linea del codice di programma.

Halt

Mediante questo comando si ferma l'esecuzione del programma. I registri si aggiornano con i valori corrispondenti all'ultima istruzione eseguita.

Applichiamo quindi le opzioni viste finora con l'esempio della somma dei due numeri. Apriamo il nostro progetto, lo assembliamo e apriamo le finestre in modo che rimanga una videata simile a una di quelle delle figure esposte in precedenza.

Se selezioniamo l'opzione Run vedremo la barra inferiore cambiare colore e iniziare a contare il tempo. Con Halt si ferma l'esecuzione, si ferma il tempo, cambia nuovamente il colore della barra di stato inferiore e si aggiornano i registri. La variabile risultato prende il valore finale della somma (0C in esadecimale, 12 in decimale). I registri che hanno subito modifiche cambiano colore diventando rossi. Se scegliamo l'opzione Reset il clock si impo-

Menù dell'opzione Run aperto.

Registri aggiornati dopo aver premuto Halt.

Situazione delle videate dopo un Reset.

sta a zero e cambia solamente il valore del registro Pcl che passerà a zero, indicando la posizione del Vector di Reset. La linea di codice corrispondente a questo indirizzo risulta evidenziata.

Halt Trace

Questa opzione permette all'emulatore di caricare il buffer di memoria con i dati dei registri nei punti indicati con un Trace Point(s). Dipenderà dall'emulatore che stiamo utilizzando. Questa opzione è attiva solamente se abbiamo impostato uno o più Trace Points e non potrà essere utilizzata se stiamo lavorando con l'emulatore.

Animate

Il programma si eseguirà partendo dall'istruzione caricata sul PC prima di attivare questa opzione, l'esecuzione dura fino al termine del programma o fino a quando lo fermeremo con l'opzione Halt. Lavorando in questo modo la linea di stato passa a colore giallo e viene indicata l'istruzione eseguita in ogni momento.

Step

Questa è una delle opzioni più interessanti della simulazione in quanto, grazie a essa, potremo eseguire il programma passo a passo, istruzione dopo istruzione.

Ogni volta che selezioniamo questa opzione, con la corrispondente icona della barra degli strumenti o premendo F7, MPLAB eseguirà un'istruzione del programma. Potremo così vedere come risponde ogni istruzione e se realmente esegue l'azione per cui è stata pensata. Potremo anche verificare come, dopo un Reset, selezionando Step, il valore del PC passi a 0x05, cosa che speravamo dopo l'esecuzione dell'istruzione "goto INIZIO", dove INIZIO=0x05. Rimane evidenziata l'istruzione successiva da eseguire e i valori dei registri che sono stati modificati passano al colore rosso.

Step Over

Questa istruzione è molto simile alla precedente, dato che esegue passo a passo il programma. L'unica differenza è nel fatto che attraverso questa funzione, arrivati all'esecuzione di una subroutine (istruzione Call), questa viene eseguita come se fosse un'unica istruzione. Se la subroutine è una temporizzazione, l'istruzione equivalente impiegherà più tempo a essere eseguita rispetto un'istruzione normale. Potremo scegliere questa opzione anche mediante l'icona corrispondente o il tasto funzione F8.

Gli argomenti che trattano MPLAB e la programmazione dei microprocesori saranno inseriti sia nella sezione Digitale Avanzato che nella sezione Microprocessori

Il temporizzatore TMRO

Il PIC16F870 dispone di tre temporizzatori: il Timer 0, il Timer 1 e il Timer 2. I temporizzatori sono dispositivi molto utilizzati, dato che si possono usare come contatori o temporizzatori. Molte delle applicazioni che realizzeremo necessitano, per il loro funzionamento, di uno o più temporizzatori. Analizzeremo la struttura e il funzionamento del temporizzatore principale, il Timer 0, e impareremo a utilizzarlo.

Il temporizzatore è un contatore che si carica con un valore all'inizio del conteggio del tempo e aumenta o diminuisce a ogni impulso di clock. Quando si supera il valore massimo che può contenere (va in overflow) o arriva a zero, possiede un bit di segnalazione che passa automaticamente a 1 indicando la fine del conteggio del tempo.

I temporizzatori evitano che il processore debba dedicarsi, all'interno del programma principale, a contare il tempo. Utilizzando un contatore il programma principale può continuare a essere eseguito, dato che il contatore ha un funzionamento parallelo.

Oltre a indicare il termine del conteggio con il cambiamento di stato del bit di flag, nel nostro PIC potremo anche provocare un interrupt al processore.

Nella figura è presentato, mediante un semplice organigramma, il funzionamento di un temporizzatore dedicato a misurare il tempo.

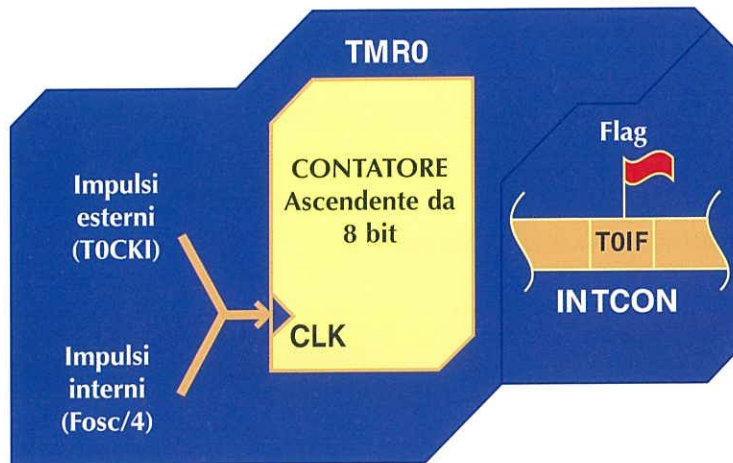
Funzionamento base di un temporizzatore.

Il TMR0 nel PIC16F870

Il TMR0 è un contatore a 8 bit ascendente che, quando raggiunge il suo valore massimo (FFh in esadecimale) passa a 00h con il successivo impulso di clock, e attiva il suo flag (TMR0IF=T0IF=1).

Gli impulsi di clock per l'incremento del contatore si possono aggiungere dall'esterno del microcontroller tramite il pin RA4/T0CKI, oppure dall'oscillatore principale a una frequenza di Fosc/4 (durata del ciclo di un'istruzione).

Il TMR0 si comporta come un registro di utilizzo speciale posizionato all'indirizzo 1 del banco 0 dell'area dei dati, memoria RAM. Può essere letto o scritto, dato che si trova collegato direttamente al bus dei dati. Grazie al fatto che è un contatore ascendente, conviene caricare il temporizzatore con il valore degli impulsi che si desiderano contare, in forma di complemento a 2. Quindi, se vogliamo contare quattro impulsi di clock si carica il TMR0 con il complemento a 2 di 4, il che significa caricarli con -4. In questo modo, fornendo quattro impulsi arriveremo al valore 00h, e si attiverà il flag di segnalazione.

Struttura generale di un temporizzatore.

Struttura del temporizzatore TMR0.

Calcolo del tempo

Il tempo che misura il TMR0, da quando viene caricato con un valore fino a quando va in overflow, dipende dal valore del registro TMR0 e dal valore del Predivisore di Frequenza che si può applicare al temporizzatore. Il Predivisore di Frequenza divide per un determinato valore gli impulsi da applicare al temporizzatore e può essere applicato sia per il TMR0 che per il Watchdog.

Per lavorare con il TMR0 è possibile utilizzare le formule seguenti, nel caso in cui gli impulsi di clock provengano dall'oscillatore interno con un periodo di Tosc:

Tempo = 4 · Tosc · (Valore caricato sul TMR0) · (Range del Predivisore)

Sapendo che il processore funziona a 4 MHz e riceve dall'oscillatore interno gli impulsi di clock, con un prescaler di 16, il valore che dobbiamo caricare sul temporizzatore per ottenere un tempo di 2 ms sarà:

Valore da caricare sul TMR0 = Tempo / (4 · Tosc · Range del predivisore)

Sostituendo con i numeri si ottiene:

Valore da caricare sul TMR0 = $2 \cdot 10^{-3} / (4 \cdot 250 \cdot 10^{-9} \cdot 16) = 125$

Il TMR0 può essere letto in qualsiasi momento per conoscere lo stato del conteggio. Quando si scrive un nuovo valore sul TMR0 per iniziare una nuova temporizzazione, l'incremento dello stesso è ritardato per i primi due successivi cicli di clock.

Struttura interna

Nella figura sono riportati gli elementi che circondano e completano il TMR0. Per gestire lunghi intervalli di tempo è necessario aumentare la durata tra gli impulsi di clock, e questo si ottiene con il Predivisore di Frequenza o prescaler. Esso divide la frequenza degli impulsi entro un determinato range di valori. Si

PS2	PS1	PS0	Divisioni del TMR0	Divisioni del WDT
0	0	0	1:2	1:1
0	0	1	1:4	1:2
0	1	0	1:8	1:4
0	1	1	1:16	1:8
1	0	0	1:32	1:16
1	0	1	1:64	1:32
1	1	0	1:128	1:64
1	1	1	1:256	1:128

Equivalenza del Divisore di Frequenza rispetto ai bit del registro option.

	4 ⟶ 0000 0100	
Complemento a 1	1111 1011	(Invertire i bit)
Complemento a 2	1111 1100	(Sommare 1)
	-4 ⟶ 1111 1100	

Calcolo del complemento a 2 di 4.

può utilizzare sia per il Timer0 che per il Watchdog, determinando questo mediante un bit del registro OPTION.

Il divisore di frequenza può assumere i seguenti valori: 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256. La selezione del range di questo divisore si realizza tramite i tre bit meno significativi del registro OPTION.

Prima del temporizzatore troviamo un dispositivo che ritarda di due cicli il cui compito è quello di sincronizzare il momento dell'incremento prodotto dal segnale T0CKI con quello prodotto dagli impulsi del clock interno.

Quando non si utilizza il Divisore di Frequenza, l'ingresso del segnale di clock esterno è lo stesso di uscita di questo divisore.

L'interrupt del TMR0

Quando abbiamo studiato gli interrupt abbiamo visto che il Timer 0 poteva generare un interrupt. Quando il TMR0 va in overflow si attiva il flag T0IF, ed esistono due metodi per comunicare al processore questo avvenimento. Il primo consiste nel testare, tramite programma, lo stato del bit T0IF fino a quando troviamo un 1, anche se in questo modo non si ottiene un interrupt immediato, ma solo quando il programma eseguirà il test. Se vogliamo che il microprocessore reagisca immediatamente all'overflow del TMR0, dobbiamo generare un interrupt e, a questo scopo, è necessario attivare i bit di abilitazione che abbiamo già analizzato a suo tempo, ovvero i bit GIE e T0IE (GIE=T0IE=1).

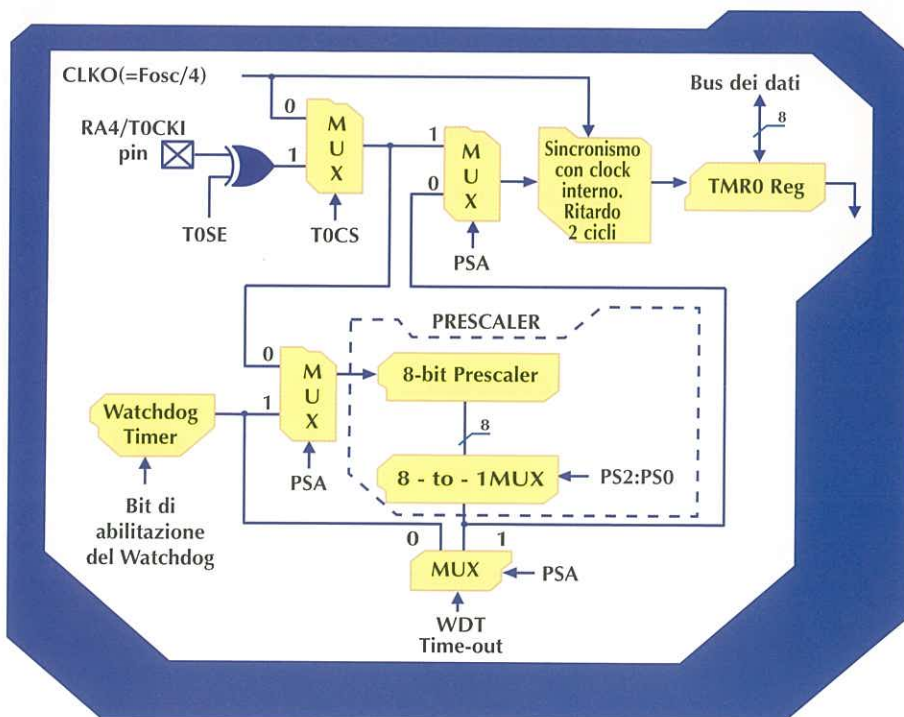
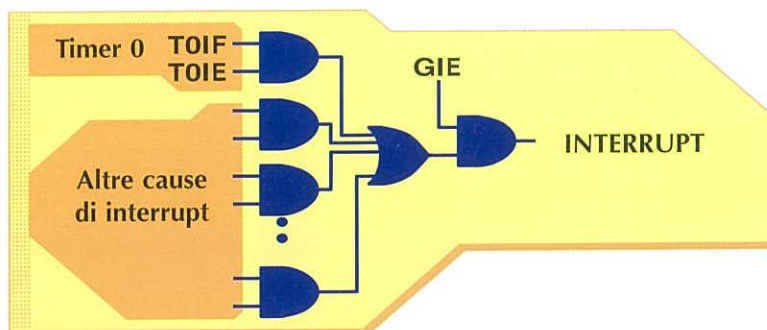
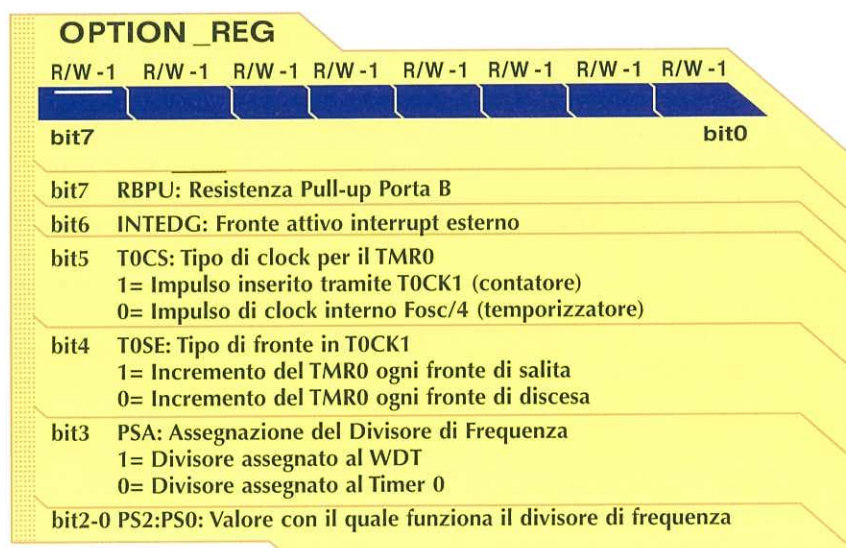



Diagramma a blocchi del Predivisore di Fequenza del TMR0 e del Watchdog.

Logica combinazionale necessaria per far generare un interrupt.

OPTION_REG

R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1
bit7							bit0

bit7 RBPU: Resistenza Pull-up Porta B
bit6 INTEDG: Fronte attivo interrupt esterno
bit5 T0CS: Tipo di clock per il TMR0
1= Impulso inserito tramite T0CK1 (contatore)
0= Impulso di clock interno Fosc/4 (temporizzatore)
bit4 T0SE: Tipo di fronte in T0CK1
1= Incremento del TMR0 ogni fronte di salita
0= Incremento del TMR0 ogni fronte di discesa
bit3 PSA: Assegnazione del Divisore di Frequenza
1= Divisore assegnato al WDT
0= Divisore assegnato al Timer 0
bit2-0 PS2:PS0: Valore con il quale funziona il divisore di frequenza

Distribuzione dei bit del registro OPTION.

Nella figura possiamo vedere la logica richiesta per fare in modo che si produca un interrupt quando va in overflow il TMR0.

Il registro OPTION

Il registro delle opzioni OPTION ha come compito principale la regolazione del comportamento del temporizzatore TMR0.

Il bit T0CS (Timer 0 External Clock Edge Select) è il bit di controllo che seleziona nel multiplexer la provenienza degli impulsi di clock, che possono arrivare dall'oscillatore interno (Fosc/4) o da quello esterno tramite il pin T0CK1.

Il bit T0SE (Timer 0 Clock Source Select) seleziona il tipo di fronte che provoca il conteggio del temporizzatore. Quindi, se il bit T0SE=1, il fronte attivo è quello discendente e se T0SE=0, è quello ascendente.

Il bit PSA del registro OPTION serve per assegnare il Divisore di Frequenza al TMR0 (PSA=0) o al Watchdog (PSA=1).

I tre bit meno significativi (PS2:PS0) selezionano il range con cui il Divisore di Frequenza divide gli impulsi applicati.

Contatore

Non dimentichiamo che possiamo utilizzare il TMR0, oltre che come temporizzatore, come un utile contatore. Potrà contare il numero di avvenimenti esterni inserendo impulsi dall'esterno tramite il pin T0CK1.

Conclusioni

Continueremo lavorando con gli altri due temporizzatori del microcontroller e studieremo le piccole differenze che li distinguono. I temporizzatori sono fondamentali in qualsiasi progetto o applicazione, e data la loro importanza, dobbiamo aver molto chiaro il loro funzionamento e le possibili applicazioni. Faremo pratica con alcuni esempi dopo aver imparato il repertorio delle istruzioni del nostro PIC.